

DOI [10.28925/2663-4023.2021.11.4360](https://doi.org/10.28925/2663-4023.2021.11.4360)

УДК 621.317.7: 621.382.2:004.021

Бушма Олександр Володимирович

доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерних наук і математики,
Київський університет ім. Бориса Грінченка, м. Київ, Україна
ORCID ID: 0000-0003-1604-6129
o.bushma@kubg.edu.ua

Турукало Андрій Валерійович

аспірант кафедри комп'ютерних наук,
Національний університет біоресурсів і природокористування, м. Київ, Україна
ORCID ID: 0000-0003-2944-1806
trykalo@gmail.com

БАГАТОЕЛЕМЕНТНІ ШКАЛЬНІ ІНДИКАТОРНІ ПРИСТРОЇ У ВБУДОВАНИХ СИСТЕМАХ

Анотація. Робота присвячена дослідженню функціональних принципів побудови засобів відображення даних у вбудованих системах та визначенню шляхів підвищення надійності передачі інформації при взаємодії людини та машини. Показано значущість візуального каналу зв'язку з оператором для забезпечення захисту інформації у складних системах та відповідальних застосуваннях. Проаналізовано принципи реалізації підсистеми виводу даних у вбудованих системах та з'ясовано, що потрібний рівень інформативності забезпечують тільки багатоелементні індикаторні пристрої. Досліджено наявну елементну базу індикаторів. Визначено, що найефективнішою елементами індикації з надійнісної та ергономічної точки зору для вбудованих застосувань є світлодіоди. Аналіз принципів візуального подання інформації показав, що аналоговий (дискретно-аналоговий) спосіб передачі даних оператору забезпечує найвищий рівень ергономічних параметрів індикаторів. При цьому найкращі результати має шкальна індикація на основі адитивної інформаційної моделі. Застосування кольору пришвидшує зчитування інформації зі шкали. Проаналізовано схеми керування індикаторними елементами для побудови надійних приладів. З'ясовано, що використанням мікроконтролерів суттєво підвищує рівень надійності та забезпечує гнучкість таких схем керування. В цьому випадку істотний вплив на надійність та ефективність рішень має програмне забезпечення, яке застосовується. Матричне з'єднання світлодіодів, які збуджуються в динамічному режимі, дозволяє побудувати ефективні засоби комунікації з оператором. Проведено аналіз наявної елементної бази індикаторів та схем керування ними для побудови надійних приладів. Визначено, що найкращий комплекс технічних, надійнісних та ергономічних характеристик буде отримано при реалізації виводу даних у вбудованих системах при використанні світлодіодної дискретно-аналогової шкали з мікроконтролерним керуванням в двотактному динамічному режимі. Однак, дослідженню принципів побудови та оптимізації програмної підтримки шкального виводу інформації з використанням схем керування на основі мікроконтролерів приділялося дуже мало уваги.

Ключові слова: надійність передачі даних; шкальний індикатор; інформаційна модель; мікроконтролер; дискретно-аналогова індикація; світлодіод; динамічний режим.

ВСТУП

Бурхливий розвиток електроніки суттєво розширив можливості засобів відображення інформації. Функціонально – це складні системи, що включають елементи індикації (EI) із засобами управління для введення, зберігання і перетворення інформації. Високий рівень надійності та достовірності передачі даних оператору забезпечують пристрої на основі дискретно-аналогових шкальних індикаторів (ШІ), які

поширені в техніці, відповідальних промислових та мобільних застосуваннях. Є досить велика кількість методів організації інформаційних полів (ІП) ІІІ, розроблені технології, способи й апаратні засоби побудови ЕІ, що мають високий рівень експлуатаційних та надійнісних параметрів. Використання цифрових технологій в візуальному каналі передачі повідомлень оператору стало одним з ефективних методів підвищення безпеки даних при реалізації комплексних систем захисту інформації [1]. Головну роль при створенні таких рішень відіграє інформаційна модель (ІМ), яка є правилом по якому кодуються візуальні повідомлення [2],[3]. Серед ІМ, які широко використовуються в ергатичних системах, виділяється група дискретно-аналогових моделей, що мають унікальний комплекс інформаційних і ергономічних параметрів [4],[5].

Відомі дослідження вказують на те, що найбільший рівень вразливості візуального каналу ергатичної системи пов'язаний зі спотворенням інформації та цілісністю переданих людині повідомлень [6], [7]. На це негативно впливає її несанкціонована модифікація. Використання цифрових технологій у візуальному каналі машино-людиного інтерфейсу стало одним із ефективних методів підвищення рівня безпеки даних при впровадженні комплексної системи захисту інформації [8], [9].

Втручання третіх сторін, які націлені на зміну важливих властивостей інформації таких як конфіденційність, цілісність, доступність – може привести до прийняття помилкових рішень, і, як наслідок, до виникнення аварійних та інших небажаних ситуацій [10], [11]. Тому забезпечення максимально можливого рівня надійності та достовірності передачі інформації, а також її захисту в ергатичних системах вкрай важливо як на стадії створення, так і в процесі експлуатації. Особливого значення це набуває при проектуванні вбудованих технічних засобів. Використовувані програмні, функціональні та конструктивні методи, що застосовуються в цьому випадку, повинні запобігти спотворенню та витоку інформації, а також несанкціонованому або ненавмисному впливу на неї.

Метою роботи є визначення шляхів підвищення надійності та достовірності передачі інформації в ергатичній системі для вбудованого застосування у мобільних технічних засобах.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

ЕІ є конструктивно завершеним перетворювачем інформаційного електричного сигналу в просторовий візуальний. За принципом світлопередачі ЕІ поділяються на активні, які випромінюють фотони світла, і пасивні, які керують зовнішнім світловим випромінюванням з використанням властивостей речовини. ЕІ визначає основні показники якості пристроїв відображення інформації (ПВІ) такі як: розмір, роздільну здатність, яскравість, контрастність, колір світіння. Склад ПВІ надзвичайно різноманітний. У нього включені одиничні ЕІ, алфавітно-цифрові та графічні дисплеї різного призначення, формату та габаритів. У промисловій і побутовій апаратурі широко використовується різні ПВІ - від надмініатюрних екранів для годинників до інформаційних панелей значних розмірів.

Характеристики ПВІ повинні задовольняти вимогам до виведеної інформації; універсальності форми, що відображається (тексту, графіків, рівнів, мнемосхем); високої швидкодії по каналах відображення, пошуку і виведення інформації; високої надійності при великому терміні служби; наявності набору ергономічних і екологічних

параметрів (розміру ЕІ, світлотехнічних характеристик, рівня світлового випромінювання) з урахуванням психофізіологічних властивостей зору людини - оператора, який за представленою на пристрої інформацією повинен виділити об'єкт і сформуванати його модель. Для цього збудженні зорові відчуття повинні перевищити деякий пороговий рівень, що залежать від кольірних властивостей об'єкта, контрасту між його зображенням і фоном, часу спостереження і інших причин. Кількість чинників, що визначають зорове сприйняття, досить велике, що зумовило велику номенклатуру приладів, що дозволяють отримати близький до оптимального результат.

Залежно від умов роботи, області застосування і конкретного призначення ПВІ бувають універсальними або спеціалізованими; працюють в прискореному, реальному або сповільненому масштабі часу; мають певні функції обробки сформованого зображення. Залежно від вимог, що пред'являються до параметрів, які визначаються складністю завдань ПВІ, їх поділяють на ряд категорій, для кожної з яких задаються відповідно вищі та нижчі значення параметрів [12].

У вимірювальній і керуючій апаратурі набули поширення різновиди вакуумних люмінесцентних, рідкокристалічних, плазмових й інших типів індикаторів. Розвиток напівпровідникової технології сприяє перевазі використання індикаторів на світловипромінюючих діодах (СД), а також пасивних елементах на основі рідких кристалів. Серед груп пасивних елементів слід згадати різноманітні електростатичні ЕІ конденсаторного типу з модуляцією зовнішнього освітлення з використанням електромагнітних, електрохімічних та інших ефектів.

Збільшення інформаційного навантаження на оператора сучасних автоматизованих систем зумовило підвищення вимог до форм подання даних. Це підштовхнуло виробників до широкого використання шкальної (дискретно-аналогової) індикації, яка забезпечує високий рівень ергономічних характеристик відлікових пристроїв і дозволяє значно зменшити число помилок при зчитуванні інформації з ІІ індикатора. Кількість елементів ІІ (ЕІІ), які використовуються у відлікових пристроях, визначає інформаційні параметри каналу зв'язку з оператором та дискретність подання результатів вимірювань. Оптимальним з ергономічної точки зору для апаратури індивідуального користування є ІІ, яке складається з 30 ... 150 ЕІІ.

Такі прилади використовуються для індикації стану включення, готовності до роботи, наявності напруги, електричних і температурних порогів, відображення цифрової та аналогової інформації в промисловості, авіації, військовій сфері, всюди де потрібна наочність і простота. З метою підвищення інформативності різні ділянки ІІІ можуть бути виконані в різних кольорах. Для управління індикаторними елементами можна використовувати спеціалізовані мікросхеми або мікроконтролери (МК). У порівнянні з іншими типами індикаторів (електромеханічними, лампами розжарювання, газорозрядними, рідкокристалічними) напівпровідникові мають цілу низку переваг, зокрема, відсутність рухомих механічних частин, великий термін служби, високий рівень електрооптичних параметрів, стійкість до механічних і кліматичних впливів.

Лінійні шкали є аналогами щитових вимірювальних приладів і служать для відображення величин які постійно змінюються. Вони можуть бути встановлені на приладовому щиті автомобіля або літака, на пульті управління технологічним процесом. Зручно за допомогою шкальних індикаторів, розташованих поруч, зіставляти значення вимірюваних величин в багатоканальній системі. Позитивною властивістю таких шкал є наочність подання інформації, при цьому оператором витрачається менше зусиль при контролі за її роботою.



Аналоговий спосіб відображення інформації на шкалі полягає в зіставленні певної величини сигналу з просторовим розташуванням відповідного покажчика. Цей спосіб хоч і поступається цифровому в точності відліку, але має в порівнянні з ним цілу низку переваг, зокрема, дозволяє просто подати вимірювану величину у вигляді відповідного зорового образу та оперативно стежити за зміною однотипних параметрів, які надходять з декількох ідентичних об'єктів і, одночасно, порівнювати їх між собою. З огляду на інерційність людського зору для надійного сприйняття інформації необхідно в індикаторах, що розміщуються на нерухомих об'єктах, підтримувати частоту оновлення зображення в межах 100 Гц. Для приладів індикації, що розміщуються на рухомих об'єктах схильних до вібрацій, ця частота повинна складати 350-375 Гц [13].

Однією з найважливіших характеристик ІІІ є колір світіння. Правильний вибір кольорової гама індикаторів в засобах індикації багато в чому визначає ефективність роботи оператора при зчитуванні інформації. Існуючі стандарти чітко визначають призначення кожного кольору (червоний - небезпека, жовтий - увага, зелений - все в нормі). Однак застосування індикаторів різного кольору світіння з різними відтінками змінило підхід до вибору кольору і його функціонального призначення.

Використання багатоеlementних ІІІ в приладах і системах різного призначення передбачає відповідні функціональні та конструктивні особливості цих реалізацій. Однак в будь-якій структурі ІІІ виконує функцію перетворення вхідного інформаційного сигналу в візуальний, який призначений для оператора.

Перетворення інформації до вигляду, зручного для використання в різних пристроях, є важливим завданням в системах управління. Довгий час перевага віддавалася аналоговій обробці сигналів, так як призначена для цього елементна база (пасивні елементи, операційні підсилювачі) технологічно більш прості у виготовленні і застосуванні.

З розвитком мікроелектроніки в апаратурі управління стали більш широко застосовуватися мікрокомп'ютери, що дозволило істотно спростити цикл розробки і виготовлення виробу, так як розробка пристрою все більш зводилася до розробки ПО. З появою універсальних однокристальних МК ця тенденція в розробці електронної апаратури була доведена до своєрідного завершення. Стало можливим створювати цифрові пристрої різного призначення на основі однієї і тієї ж конфігурації апаратних засобів [14]. Використання МК у кінцевому виробі не тільки підвищує техніко-економічні показники (вартості, надійності, споживаної потужності, габаритних розмірів), а також забезпечує досягнення високих показників ефективності при низькій собівартості.

МК можна зустріти у величезній кількості сучасних промислових і побутових приладів: верстатах, автомобілях, телефонах, телевізорах, холодильниках, пральних машинах, і навіть кавоварках. Серед виробників можна відзначити: Intel, Motorola, Hitachi, Microchip, Atmel, Philips, Texas Instruments, Infineon Technologies.

Зараз багатьма виробниками випускаються 8-, 16-, 32-розрядні однокристальні МК з ємністю пам'яті команд до декількох десятків Кбайт, невеликим ОЗП даних і вбудованим набором таких інтерфейсних і периферійних пристроїв, як паралельні і послідовні порти введення / виводу, таймери, аналого-цифрові і цифро-аналогові перетворювачі, широтно-імпульсні модулятори тощо.

Сьогодні найбільша частка світового ринку МК належить восьмирозрядним пристроям (близько 50% у вартісному вираженні). На другому місці – 16-розрядні і DSP-мікроконтролери (DSP - Digital Signal Processor - цифровий сигнальний процесор), орієнтовані на використання в системах обробки сигналів (кожна з груп займає

приблизно по 20% ринку). В кожній групі МК діляться на CISC - і RISC-пристрої. Найбільш численною групою є CISC-мікроконтролери, але в останні роки серед нових чіпів намітилася явна тенденція зростання частки RISC-архітектури [15].

МК потрібні не тільки для великих виробничих систем, але і для малогабаритних пристроїв для мобільних вбудованих засобів. У таких пристроях до МК пред'являються жорсткі вимоги щодо вартості, габаритів і температурному діапазону роботи. Найбільш поширеними і добре себе зарекомендувавшими зараз є МК родини MCS-51. Ця родина підтримується рядом фірм - виробників мікросхем. Не менш поширеними у світі є МК фірми Motorola. Це такі родини як HC05, HC07, HC11 і багато інших. Не менш популярними є МК сімейства AVR фірми Atmel. Всі ці прилади можна розділити на наступні основні типи: вбудовані (embedded) 8-розрядні МК; 16 - і 32-розрядні МК; цифрові сигнальні процесори. Промисловістю випускаються дуже широка номенклатура вбудованих МК. У них всі необхідні ресурси (пам'ять, пристрої введення-виведення і т.д.) розташовуються на одному кристалі з процесорним ядром. Зазвичай такі МК містять значну кількість допоміжних пристроїв, завдяки чому забезпечується їх включення в реальну систему з використанням мінімальної кількості додаткових компонентів.

Зараз в світі стрімко зростає потреба у вбудованих системах (ВС) різного призначення, що змушує розробників активно удосконалювати методи і засоби проектування. ВС можна визначити як спеціалізовані МК системи, що безпосередньо взаємодіють з об'єктом контролю або управління і об'єднані з ним конструктивно. Вони знайшли широке застосування в побутовій електроніці, промисловій автоматизації, у транспортних засобах, в телекомунікаційних системах, медичному обладнанні, в військової і аерокосмічній техніці. З кожним роком сфера застосування ВС постійно розширюється і в тому чи іншому вигляді ці системи найближчим часом будуть задіяні в усіх сферах діяльності людини.

Процес створення ВС характеризується високою складністю. Це визначається поєднанням таких умов проектування, як нестандартність завдання, вимога технічної оптимальності рішень (модель обмежених обчислювальних ресурсів), мінімальні часові та фінансові бюджети розробки, присутність великої кількості додаткових вимог і обмежень (надійність, обмеження реального часу, важкі умови експлуатації). Різноманітність завдань автоматизації та способів їх вирішення породжує величезну кількість варіантів ВС. З урахуванням існуючих технічних, фінансових та часових обмежень вибір варіанта реалізації перетворюється для розробника в складне науково-технічне завдання [16].

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Надійність відображення інформації в ПВІ

Ефективність використання складної системи істотно залежить від надійнісних параметрів ПВІ. Ця властивість обумовлює здатність виробу виконувати необхідні функції в заданих умовах експлуатації. По суті надійність – складна властивість, що об'єднує безвідмовність, довговічність, збереженість і ремонтпридатність виробу, які нерозривно пов'язані з його призначенням та умовами застосування [17]. В якості кількісних характеристик надійності ПВІ використовують: ймовірність безвідмовної роботи, інтенсивність відмов, середній час безвідмовної роботи, частоту відмов,

напрацювання на відмову. Очевидно, що ці характеристики можуть використовуватися в припущенні, що ПВІ повинні перебувати або в працездатному стані, або в стані повної відмови.

Найбільш загальні вимоги до ПВІ полягають в наступному:

1) вони повинні забезпечувати передачу оператору інформацію в кількості, достатній для оцінки ситуації, прийняття рішення та контролю за його виконанням; при цьому кількість даних, що виводиться має відповідати реальним можливостям людини обробити цю інформацію;

2) інформація повинна бути представлена у формі, яка найбільш відповідає особливостям сприйняття, специфіці виконуваних оператором функцій і загальним умовам його роботи;

3) інформація що виводиться повинна бути відображена лише в ті моменти, коли в ній виникає потреба [18].

Вибір раціонального ПВІ включає не тільки перераховані вище принципові питання. Нерідко найбільш трудомістким є завдання вибору конкретного способу відображення при наявності декількох способів, що дозволяють вивести однакову за змістом інформацію. Наприклад, відомості про справність агрегату можуть бути відображені у вигляді сигналізації на мнемосхемі, у вигляді словесно-цифровий інформації на табло, у вигляді показань відповідного стрілочного приладу, на аналоговій шкалі тощо. Вибір конкретного способу кожного разу є спеціальним завданням [19].

При наявності відомостей про часові та ергономічні характеристики роботи людини з кожним з можливих ПВІ ця задача може бути вирішена за допомогою застосування математичних методів моделювання різних ситуацій управління. Вибравши той чи інший критерій оптимізації процесу управління, такий як точність, швидкість, надійність, можна отримати очікувані кількісні характеристики процесу управління з кожним варіантом комплексу ПВІ. Іноді аналіз призводить до висновку про те, що жоден з існуючих способів не може забезпечувати виконання функцій зі заданими критеріями [20]. Тоді виникає потреба в проектуванні нового пристрою відображення. В цьому випадку, так само, коли проектувальникам невідомі характеристики роботи людини з тим чи іншим пристроєм, необхідні спеціальні експериментальні дослідження для оцінки пропонованих варіантів [21].

Однак в більшості випадків ПВІ при відмові одного або декількох елементів продовжують функціонувати, відображаючи інформацію в повному обсязі або частково (це пов'язано з їх структурної надлишковістю) безпосередньо для людини, що зчитує та використовує її для вирішення конкретних задач.

Основними параметрами, які визначають надійність та достовірність зчитування даних та надійність ПВІ в цілому, є сила світла та пов'язане з нею падіння напруги на СД при номінальному значенні прямого постійного або імпульсного струму.

Номінальне значення прямого постійного (імпульсного) струму визначає використання потрібного випромінювача в ПВІ виходячи з його енергетичних параметрів. Ця величина та дискретність реалізованої ІМ визначають як побудову схеми в цілому, так і її вихідних ланцюгів. Зі зменшенням номінального значення прямого струму через СД зростає ККД, збільшується термін служби і, відповідно, апаратна надійність ПВІ [22].

Залежність відношення сили світла до прямого струму від прямого струму дозволяє оптимізувати побудову ШІ за рахунок вибору часових параметрів ІМ, які забезпечують збудження СД в найбільш ефективному динамічному режимі. Зниження



нагріву випромінювачів й імпульсних струмових навантажень при збереженні яскравості ІП збільшує термін служби та надійність як схеми керування (СК), так і самих СД.

Попередні дослідження показали, що зменшення кількості тактів формування ІМ на ІП є одним з найбільш ефективних шляхів підвищення надійності динамічних ІШ. Це функціональне рішення одночасно поліпшує ергономічні характеристики, спрощує конструкцію та знижує струмові навантаження на СД і вихідні ланцюги СК. Комплексний вплив на різні елементи структури є характерною рисою цього шляху покращення надійнісних характеристик ІШ та забезпечує найвищу ефективність.

Другим основним фактором, що визначає надійність ІШ, є технічні засоби, за допомогою яких здійснюється формування візуального сигналу, призначеного для оператора. Однак надійність технічних засобів, в основному, визначається апаратурою, що використовується для реалізації ІМ. Значна кількість структурних елементів і досить складні функціональні зв'язки між ними потребують особливої уваги для побудови апаратурної частини ІШ. Тут найбільший інтерес представляє СК ПВІ, що формує ІМ на шкалі.

Значний вплив на надійність апаратурної частини ІШ при побудові перетворювача цифрового сигналу у візуальній пов'язаний зі структурою електричних зв'язків його ІЕ. Вихідний перетворювач найчастіше виконується на основі лінійного (однокоординатного) або матричного двокоординатного електричного з'єднання елементів [23]. Зокрема, для дискретно-аналогового перетворювача на СД лінійне з'єднання еквівалентно підключенню діодних структур із загальним анодом або катодом, або послідовно. Матричне двокоординатне з'єднання реалізується шляхом об'єднання в групи з однойменним загальним електродом тих СД, які розташовані поруч на ІП. Виходи загальних груп електродів утворюють одну координату матриці. Друга її координата – це виходи інших однойменних електродів, об'єднаних у СД з однаковим номером в кожній з груп. Значний вплив на надійнісну реалізацію ПВІ надає внутрішній алгоритм перетворення інформації в дискретно-аналоговій структурі (ДАС). Тут слід виділити статичні та динамічні структури. Перша група характерна тим, що внутрішній стан СК залишається незмінним протягом усього часу формування будь-якого з символів. Динамічні структури при обробці інформації, що надходить, змінюють свій стан в процесі відображенні поточного символу.

З точки зору надійності ПВІ може бути представлено у вигляді паралельно-послідовної надійнісної схеми. У цій схемі послідовне з'єднання блоків відображає поведінку функціональних елементів, відмова яких призводить до відмови пристрою в цілому. Паралельне з'єднання блоків відповідає функціонуванню елементів, відмова яких викликає відмову пристрою в цілому, тільки якщо відмовлять всі з'єднані паралельно елементи. Для підвищення надійності електричних схем необхідно рухатись до спрощення структури схеми, тобто зменшення числа елементів і зв'язків, відмови яких є основною причиною зниження надійності схеми.

Апаратурна надійність в цілому буде визначатися крім частоти відмов обладнання також і часом, необхідним для відновлення нормального режиму роботи, тобто часом аварійного ремонту або заміни пошкодженого елемента, чи його модуля. Однією з основних характеристик надійності обладнання або пристрою є питома пошкоджуваність (частота або інтенсивність відмов) λ визначається як відношення числа елементів n , які відмовили в роботі в проміжок часу Δt , до середнього числа елементів N , справно працюють протягом часу Δt (за період спостереження t) відмова / рік:

$$y^{(t)} = \frac{n(t)}{N(t)\Delta t}$$

Надійність є головною вимогою, яка пред'являється до засобів вбудованих систем. Якщо при проектуванні забезпеченню надійності не буде приділено належної уваги, то всі інші переваги, які має технічне рішення, можуть бути втрачені.

Типи шкальної індикації

Управління ІШ виконується, як правило, двома способами: статичним або динамічним. Перший з них на практиці використовується, якщо кількість елементів індикатора менша 30. В разі необхідності побудови ІШ більшої дискретності такий принцип не забезпечує потрібний рівень надійності, тому що базується на формуванні окремих незалежних сигналів управління кожним з випромінюючих елементів (ВЕ), що вимагає відповідного збільшення числа каналів їх збудження, а також збільшує споживаний струм. Статична індикація алгоритмічно простіша, так як не потребує додаткової обробки даних, властивої динамічному режиму. В статичному варіанті окремому СД відповідає окремий ключ, і дані, що виводяться, змінюються лише при новому символі.

Для зменшення загального числа ліній з'єднання СД, ПВІ частіше виготовляють багаторозрядними блоками, у яких в єдиному корпусі може бути велика кількість ВЕ. З метою скорочення числа виходів у багаторозрядному індикаторі всі однойменні сегменти з'єднані разом і мають один загальний вивід. Для того, щоб керувати світінням якого-небудь ВЕ кожен СД має загальний вивід, який може бути загальним анодом або загальним катодом. Динамічний спосіб використовується для індикаторів з великою кількістю елементів, причому, його елементи з'єднуються матрицею, що істотно підвищує надійність рішень в цілому. Вибір оптимального режиму роботи ІШ є однією з найважливіших задач при створенні індикаторного пристрою. Режим роботи повинен бути таким, щоб забезпечувати необхідні світлотехнічні параметри, надійність, довговічність і припустиму деградацію параметрів ВЕ в процесі експлуатації.

Необхідно відзначити, що ще однією перевагою динамічного режиму управління ІШ є те, що він менш енергоємний в порівнянні зі статичними реалізаціями. Це пояснюється тим, що зі зростанням пікового струму напівпровідникових СД індикаторів на основі, наприклад, GaAsP, світловіддача на одиницю струму збільшується [23]. Таким чином, для забезпечення однієї і тієї ж яскравості світіння індикатора при управлінні ним в динамічному режимі, менше енергоспоживання, ніж в статичному безперервному режимі. З огляду на інерційність зору для забезпечення сприйняття інформації без спалахів і «розмазування», необхідно частоту відновлення інформації для індикаторів, що розміщуються на нерухомих об'єктах, підтримувати на рівні 100 Гц. Для приладів індикації, що розміщуються на рухомих об'єктах, схильних до вібрацій, частота відновлення інформації підтримується на рівні, яка в 5 разів перевищує рівень вібрації. Однак з точки зору раціонального співвідношення рівня складності схем управління і зручності зчитування для об'єктів, схильних до вібрацій з частотами, до 2000 Гц, цілком прийнятна частота оновлення інформації 350-375 Гц [24].

Необхідно звернути увагу на те, що при використанні для стробування високих частот (10 кГц і більше) швидкість вимкнення підсилюючих транзисторів може виявитися недостатньою для забезпечення мультиплексного управління СД, тобто може через затягування зрізів стробуючих імпульсів виникнути так званий «ефект примари» - СД, які повинні бути вимкнені, залишаються ввімкнутими, з'являється паразитне засвічування фону на робочому полі індикатора. Залежно від умов зчитування інформації для запобігання цього ефекту необхідно між вимиканням одного елемента та включенням іншого передбачати фіксований часовий інтервал, рівний 2-4% від часу синтезу символу.

СД - малоінерційний прилад індикації, тому його видима яскравість практично пропорційна тривалості горіння в імпульсному режимі. Чим більше шпаруватість - тим менше яскравість. У динамічних схемах індикації, коли СД вже запалюються з певною шпаруватістю, процес управління яскравістю накладається на процес оновлення (сканування) екрану. Це підвищує частоту перемикання СД, однак практично не впливає на ергономічні параметри індикатора [25].

Перетворення інформації код-символ

Цифрова обробка сигналів дозволяє виконувати довільне перетворення сигналу по будь-яким складним алгоритмам з великим ступенем точності. Щоб виконати цифрову обробку необхідно попередньо перетворити аналоговий сигнал на вході в цифровий код за допомогою аналого-цифрового перетворювача. Алгоритми цифрової обробки сигналів можуть реалізовуватися як в пристроях на жорсткій логіці, так і в пристроях з програмною логікою - універсальних або спеціалізованих мікропроцесорах і мікроконтролерах [26].

Кодування інформації полягає в її співвідношенні з набором умовних знаків (символів). Повідомлення, яке повинно бути передане оператору, відображається на ПВІ в формі символу, який оператор повинен сприйняти та декодувати. Тому вибір оптимальної множини символів є найважливішим завданням при проектуванні інформаційного середовища. Оптимальним є символ, який забезпечує максимальну швидкість і надійність зчитування та переробки інформації. Кодування ґрунтується на використанні базової множини умовних знаків - алфавіту. Алфавіти розрізняються за багатьма ознаками: модальністю (віднесення знаків до певного типу відчуттів), категорією (аспект відчуття всередині модальності), довжиною (кількістю градацій, тобто кількості знаків в алфавіті), абстрактністю (знаки або мають явний референт, або пов'язані з ним тільки умовно). Алфавіти також характеризуються мірністю (кількістю знаків) та принципами компонування складових знаків [27].

Блок-перетворювач інформації (БПІ) у візуальне повідомлення трансформує цифровий електричний сигнал в оптичний, який призначений для оператора. Реалізація такого перетворення є процесом обробки даних, що надходять у відповідності з наступним алгоритмом: формування кодів для синтезу зображення на ІП - отримання електричних сигналів, параметри яких відповідають використовуваним елементам ПВІ-перетворення електричних сигналів в оптичні - обробка отриманих оптичних сигналів для створення зображення з необхідними параметрами. В ході обробки повідомлень враховується керуючий вплив оператора та наявність взаємодії з середовищем [28].

БПІ оброблює дані, які надходять до системи, і формує коди, необхідні для створення зображення на ІП індикатора. Також він виконує буферну функцію, погоджуючи з електричним параметрам виходи МК з входами ІП. Це дозволяє

обробляти цифровий сигнал, який сформований зовнішнім пристроєм, забезпечуючи синтез зображення на ПП з необхідними оптичними параметрами.

Якщо говорити про дискретну форму ІМ, то вона визначає оптимальне подання даних, які обробляються функціональними елементами дискретно-аналогового ПВІ. Тому інформація в переважній більшості пристроїв представлена кодами, які забезпечують відповідність між множиною цифрових символів і кодованими повідомленнями. Найбільш вживаними є чотири види зважених кодів.

Двійковий нормальний код, в якому число K представляється в двійковій формі K_2 як

$$K = \sum_{i=1}^l a_i \cdot 2^{i-1} = K_2 \quad ,$$

де l - кількість розрядів в двійковому поданні; $a_i = 0 \vee 1$ — знаки (цифри) системи числення з основою, рівною двом. Цей вид коду є безбитковим і найбільш ефективним для передачі повідомлень.

Двійковий-десятковий код незамінний в ергатичних системах з візуальним зв'язком з оператором. Він є досить ефективним, оскільки використовує двійкове кодування в межах десяткового розряду та добре розшифровується людиною.

Одиничний нормальний код, що відображає дані кількістю одиниць в кодованому числі, є високо надмірним, проте відповідає адитивній ІМ.

Одиничний позиційний код представляє число позицією одиниць в ряду нулів. Він також надлишковий, але відповідає позиційній ІМ.

Вид використовуваного коду визначає побудову функціональних елементів ПВІ, тому оптимізація внутрішніх сигналів по виду коду та кількості його розрядів дозволяє спростити апаратну реалізацію та підвищити надійність ПВІ в цілому.

Взаємодія між індикатором та оператором

Ефективність і надійність роботи технічних систем, призначених для взаємодії з людиною, більшою мірою залежить від рівня узгодження її конструкції з психологічними та фізіологічними характеристиками оператора. З розвитком техніки збільшується число об'єктів і їх параметрів, за якими необхідно стежити. Це ускладнює системи та підвищує роль операцій з планування та організації роботи оператора по контролю й управлінню виробничими процесами. При цьому людина все більше віддаляється від керованих об'єктів, про динаміку їхнього стану вона судить не за даними безпосереднього спостереження, а на підставі сприйняття сигналів від ПВІ, що імітують реальні виробничі об'єкти. Здійснюючи дистанційне керування, оператор отримує необхідну інформацію в закодованій символній формі (у вигляді показів лічильників, індикаторів, вимірювальних приладів тощо). Це обумовлює необхідність декодування й уявного зіставлення отриманої інформації зі станом реального об'єкта [29].

Збільшення складності та швидкості перебігу виробничих процесів та зміни ситуацій висуває підвищені вимоги до точності дій оператора, швидкості прийняття рішень у здійсненні управлінських функцій. Зростає ступінь відповідальності за вчинені дії, оскільки помилка оператора при виконанні навіть самої простої з них може призвести до порушення роботи всієї системи «людина - машина», створити аварійну ситуацію із загрозою для життя працюючих людей. Основним критерієм стає не фізична важкість праці, а її нервово-психічна напруженість. При виникненні

порушень оператор повинен здійснити різкий перехід від монотонної роботи в умовах «оперативного спокою» до активних, енергійних дій з ліквідації виниклих відхилень. При цьому він повинен протягом короткого проміжку часу опрацювати велику кількість інформації, прийняти і здійснити правильне рішення. Це призводить до виникнення сенсорних, емоційних і інтелектуальних перевантажень. Тому робота оператора в сучасних людино-машинних комплексах характеризується значними збільшеннями навантаження на нервово-психічну діяльність людини.

При цьому зір забезпечує близько 90% всієї інформації, яка надходить до оператора. Очевидним є те, що ПВІ формують основні візуальні потоки даних, які отримуються людиною від технічних засобів. Тому одним з найбільш істотних резервів підвищення надійності виведення інформації має процес взаємодії індикатора з оператором через зоровий канал. Тому оптимізація візуального сприйняття даних є однією з найважливіших складових побудови високонадійних ІШ. В результаті можуть бути побудовані ефективні ІШ, які враховують обмеження, що накладаються параметрами зорового каналу.

Вихідна оптична інформація ІШ є послідовністю повідомлень, яка призначена для візуального прийому людиною-оператором. При цьому в свідомості людини формується суб'єктивне відображення властивостей чинного об'єкта у вигляді перцептивного образу. Такий процес є фазним і включає три стадії: виявлення, впізнання та розрізнення. Тривалість цих стадій визначається параметрами візуального сигналу і нерозривно пов'язана з надійністю і достовірністю прийому інформації. Після завершення процесу оператор сприймає не відповідне повідомлення з потоку, а імітує його перцептивний образ. Це уявлення визначається ІМ, яка є кінцевою множиною сигналів, що передають оператору повідомлення на основі фіксованої системи правил. У ІШ використовується ряд спеціалізованих ІМ, які будуть розглянуті далі. Значний вплив на надійність мають інформаційні обмеження зорового аналізатора людини. Тому створення реальних виробів вимагає детального розгляду цих обмежень для подальшого формування на його основі комплексу відповідних параметрів ІМ [30].

При визначенні надійності людино-машинного інтерфейсу (ЛМІ) необхідно враховувати наступне: показники надійності повинні бути єдиними для всіх ланок ЛМІ. Тому методики оцінки надійності ЛМІ максимально використовують показники, математичний апарат і методи розрахунку, розроблені в теорії надійності технічних пристроїв. При цьому показники надійності ЛМІ повинні, по можливості, включати в себе в явному вигляді показники надійності її окремих ланок - людини і машини [31].

Інформаційна модель

Ключовою ознакою ІМ є її форма, так як саме вона є основою візуального образу, який формується на ІП ПВІ. ІМ є джерелом інформації, на основі якої оператор формує образ реальної системи та аналізує її роботу, планує діяльність і приймає рішення. В сучасних системах найкращі результати досягаються використанням дискретно-аналогових шкальних ІМ. **Reference source not found.** В серійній радіоелектронній апаратурі найчастіше реалізуються дві форми ІМ – позиційна та адитивна. У першому випадку відлік визначається положенням оптичної неоднорідності на ІП, а в другому - протяжністю та положенням відлікового кінця оптичної неоднорідності. У разі ІШ на основі СД - це мітка та лінія, які світяться на мірній шкалі, відповідно. Позиційна ІМ простіша в реалізації та споживає менше енергії на формування, але має гірші ергономічні властивості. Адитивна ІМ

характеризується вищим енергоспоживанням, але також і суттєво вищими надійнісними та ергономічними характеристиками за рахунок інформаційної надлишковості [32], [33]**Error! Reference source not found..**

Узагальнення структури вихідного об'єкта, абстрагування від його властивостей і процесів, які відбуваються в ньому, характерне для ІМ та визначає можливість використання загальної теорії знаків і знакових систем – семіотики для дослідження ІІІ. Очевидно, що ІІІ задовольняє основним визначенням знаку в семіотиці, тому що він є матеріальним чуттєво сприйнятим предметом, який виступає в процесах пізнання та взаємодії в якості заміни іншого предмета, і використовується для отримання, зберігання, перетворення та передачі інформації про нього.

Системи знаків, які використовуються в ІІІ, можуть бути віднесені до штучних немовних систем спеціального призначення. Набір знаків (символів) утворює алфавіт, який відображає стан контрольованого об'єкта. Довжина алфавіту, тобто кількість різних символів в ІМ, визначається кінцевою множиною станів вихідного об'єкта, інформація про які повинна оброблятися та передаватися оператору. Семіотичні та технічні характеристики ІІІ тісно пов'язані з класифікацією і параметрами ІМ [34]**Error! Reference source not found..**

За топологією ІМ поділяються на лінійні та матричні. Для першої групи характерно одновимірне подання інформації, при якому формується однокоординатна мірна шкала. Матрична топологія забезпечує більш інформативне двовимірне відображення даних.

Лінійні ІМ представлені чотирма підгрупами: прямолінійними (горизонтальними та вертикальними), секторними, круговими і спеціальної форми. Для першої, найбільш поширеною підгрупи ІМ, характерно переміщення оптичної неоднорідності на ІІ по прямій лінії, а для секторних і кругових – по дузі кола. Причому, розмах шкали в секторній ІМ не перевищує 180° , а в круговій – більше 180° . Топологія ІМ спеціальної форми забезпечує візуальне виділення певних відрізків і може бути представлена, наприклад, ступінчастою лінією з горизонтальних та похилих ділянок. ПВІ з матричною топологією ІМ мають прямокутну структуру. Однак вони не знайшли широкого застосування на практиці, оскільки сприйняття інформації з такої шкали досить ускладнене [35]**Error! Reference source not found..**

За способом формування символів можна виділити статичні та динамічні ІМ. До першої групи належать ІМ, для яких візуальний образ кожного повідомлення формується одночасно на всьому ІІ ПВІ. Для динамічних ІМ характерно послідовне в часі поетапне формування образу кожного з повідомлень на ІІ індикатора. Очевидно, що статична обробка сигналів і синтез ІМ підвищує швидкість і знижує рівень завад. Однак така побудова пристроїв навіть при оптимальній реалізації не забезпечує необхідний рівень надійності для алфавітів довжиною понад 30 символів, тому що базується на створенні окремих незалежних сигналів збудження ЕІІ з відповідним нарощуванням кількості каналів керування. Реалізація адитивного дискретно-аналогового подання даних з високою роздільною здатністю і, відповідно, з довгим алфавітом будується на основі динамічних принципів формування сигналів управління елементами ІІ. Причому, вони можуть з'єднуватися матрицею, що істотно підвищує надійність технічних рішень в цілому. Однак така побудова пристроїв породжує обмеження на реалізацію алгоритму формування сигналів управління ПВІ, так як можливість незалежного збудження його окремих елементів відсутня. Це вирішується шляхом сканування матриці по одній з координат. В результаті для дискретно-аналогового представлення даних використовується багатотактні ІМ, які мають досить

просту технічну реалізацію. Істотними недоліками такого принципу побудови ПВІ є значні імпульсні перевантаження окремих груп активних елементів індикатора, що найбільш характерно для матриць на СД. Це може бути вирішено шляхом зменшення тактів для відображення інформації та використанням двох форм ІМ – адитивної та позиційної. Практично можна реалізувати двотактні рішення для адитивного варіанту моделі [36], [37]**Error! Reference source not found..**

ІІІ з позиційним поданням інформації створюють на ІІ візуальний образ у вигляді локальної оптичної неоднорідності. Для ПВІ на основі СД така ІМ представляється у вигляді збудженого випромінювача у ряду не збуджених. Дані в цьому випадку відображаються в вигляді положення ввімкненого СД відносно мірної шкали. Побудова ІІІ з позиційним поданням інформації в основному визначається реалізацією БПІ. Найбільшого поширення мають ІІІ з однокоординатним і двохкоординатним електричним з'єднанням СД індикатора.

Однокоординатне електричне з'єднання СД дозволяє реалізувати незалежне управління кожним з ЕПІ. Можливі два варіанти однокоординатної організації зв'язків між СД: послідовне включення та з загальним електродом. Ці два варіанти з'єднання мають відповідні функціональні особливості побудови СК. До однокоординатного з'єднання СД слід також віднести реалізацію ІІІ з використанням повністю незалежного підключення електрично незв'язаних ЕПІ до СК окремо двома електродами, оскільки ця група ІІІ має ту саму класифікаційну ознаку - незалежне управління випромінювачами.

ІІІ з адитивним поданням інформації створюють на ІІ візуальний образ у вигляді протяжної оптичної неоднорідності відповідної форми. У випадку ПВІ на основі СД цей вид ІМ формується групою збуджених випромінювачів від мінімальної питомої ваги до ЕІ з питомою вагою, яка дорівнює поточному значенню величини, що відображається. Інформаційними параметрами одночасно є протяжність оптичної неоднорідності та положення її відлікового кінця щодо мірної шкали. Найбільшого поширення набули ІІІ з однокоординатним і двохкоординатним електричним з'єднанням СД. Основні особливості побудови СК аналогічні розглянутим для випадку позиційного представлення інформації [38]**Error! Reference source not found..**

Для таких ІІІ з однокоординатним електричним з'єднанням СД в БПІ і аналоговим входним сигналом при відносно невеликій дискретизації (до 30 значень) також використовуються структури з перетворенням аналог-код на основі порогових властивостей СД або інших порогових елементів. Особливістю побудови цих структур є формування в СК кодів, вид яких визначається електричним з'єднанням ЕІ в ПВІ: для послідовного з'єднання СД створюється одиничний позиційний код, для схеми із загальним електродом - одиничний нормальний код. Поєднання простоти та надійності забезпечило досить широке розповсюдження ІІІ з аналоговим входом, особливо в побутовій апаратурі. Однак, зростання складності, пропорційно кількості ЕІ в ПВІ, в значній мірі обмежує використання цієї групи ІІІ в промислових цілях. У цій сфері переважають рішення ІІІ на основі цифрових структур.

При паралельному входному коді ІІІ будуються на основі перетворення кодів. Для ІІ з лінійною організацією електричних з'єднань елементів в СК використовуються статичні цифрові структури. При цьому формуються коди відповідно до електричного з'єднання ЕІ: для послідовного з'єднання СД створюється одиничний позиційний код, для схеми із загальним електродом – одиничний нормальний код. У разі послідовного входного коду ІІІ будуються на основі запам'ятовуючих пристроїв з послідовним записом інформації. Ця група динамічних

пристроїв успішно реалізується з використанням активних напівпровідникових компонентів або оптоелектронних структур. Такі ІІІ є досить простими і надійними при малому числі ЕІ в ПВІ. Однак, якщо число СД перевищує 30, то надійність цих пристроїв виявляється недостатньою [40]**Error! Reference source not found.**

Двокоординатне матричне електричне з'єднання СД в ІІІ з адитивним поданням інформації породжує необхідність застосування динамічного керування, оскільки одночасне збудження всіх ЕІ, які формують ІМ, неможливо. У таких пристроях функціонально СК є комбінаційною логічною схемою та забезпечує послідовне збудження елементів матриці, або її сканування по одній з координат. Динамічні структури з паралельним вхідним кодом в поєднанні з матричним електричним з'єднанням СД дозволяють отримати найбільш високу надійність при реалізації багатоелементних ІІІ.

Використання МК дозволяє реалізувати найбільш універсальну динамічну СК. Програма, за якою працює МК, визначає всі функціональні параметри ІІІ і може бути замінена без переробки апаратної частини СК. Однак функціональна гнучкість та висока надійність цієї групи засобів індикації поєднуються з необхідністю розробки спеціалізованого програмного забезпечення, яке в поточний момент практично відсутнє через брак досліджень в цьому напрямі.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У роботі проаналізовано сучасний стан розвитку ПВІ, різні типи індикаторів та схеми керування ними. Визначено характеристики засобів індикації, які дозволяють отримати найкращий комплекс технічних, надійнісних та ергономічних характеристик реалізацій вбудованих систем. Проведений аналіз показав що:

- Найефективнішою елементною базою індикаторів з надійнісної та ергономічної точки зору є світлодіоди.
- Рівень ергономічних параметрів засобу індикації суттєво залежить від комплексного врахування обмежень зорового аналізатора людини, які повинні бути враховані при створенні пристрою.
- Аналоговий (дискретно-аналоговий) спосіб відображення інформації забезпечує високий рівень ергономічних параметрів ПВІ, особливо в мобільних і спеціальних застосуваннях.
- Найвищий рівень ергономічних та надійнісних характеристик має шкальна індикація на основі адитивної ІМ. Застосування кольору пришвидшує зчитування інформації зі шкали.
- Використання МК, суттєво підвищує рівень надійності та забезпечує гнучкість схеми керування ПВІ.
- Застосування двокординатного матричного з'єднання елементів індикації в поєднанні з динамічним формуванням зображення на ІІІ забезпечує високий рівень надійності апаратної частини приладу.
- Мінімізація кількості тактів при динамічному збудженні елементів індикації суттєво підвищує надійність ПВІ. Мінімально можлива кількість тактів для динамічного формування зображення на шкальному індикаторі дорівнює двом.



- С точки зору надійності реалізація міжблочних зв'язків у шкальних пристроях повинна базуватися на двійковому нормальному, одиничному нормальному та одиничному позиційному кодах.

- Істотний вплив на надійність та ефективність ПВІ на основі МК має програмне забезпечення, яке застосовується.

- Дослідження принципів побудови та оптимізації програмної підтримки шкального виводу інформації з використанням схем керування на основі МК в поточний момент відсутні.

Шкальні ПВІ на практиці задовольняють вимогам широкого кола застосувань, де потрібна захищеність, надійність, наочність і простота подання інформації, котра призначена оператору. Завдяки інформаційній надлишковості такі засоби забезпечують швидке сприйняття та достовірну розшифровку відповідного зорового образу й оперативне стеження за змінами параметрів, які надходять з декількох об'єктів і, одночасно, порівнювати їх між собою. Використання МК вбудованої системи в її індикаторній підсистемі не тільки підвищує загальні техніко-економічні характеристики пристроїв, а й забезпечує досягнення високих показників ефективності при низькій собівартості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Coombs, C., & Holden, H. (2016). *Printed Circuits Handbook, Seventh Edition*. McGraw-Hill Education.
2. Чемес, Є. О., Ямпольський, Ю. С. (2014). *Електротехнічні пристрої радіоелектронних засобів: монографія*. Бахва.
3. Барретт, С. Ф., Пак, Д. Дж. (2017). *Встраиваемые системы. Проектирование приложений на микроконтроллерах семейства 68HC12 / HCS12 с применением языка С*. ДМКпресс.
4. Важенин В. Г. (2016). *Аналоговые устройства на операционных усилителях*. Издательство Уральского университета.
5. Huang, J.-J., Kuo, H.-C., & Shen, S.-C. (2017). *Nitride Semiconductor Light-Emitting Diodes: Materials, Technologies, and Applications*. Elsevier Science & Technology.
6. Бушма, А. В., Ярцев, В. П. (2014). Многотактное формирование дискретно-аналоговых форм представления сообщений на светодиодной шкале. *Сучасний захист інформації*, (1), 4–9.
7. Бушма, А. В., Сукач, Г. А., Ярцев, В. П. (2006). Многотактное формирование дискретно-аналоговых форм представления сообщений на светодиодной шкале. *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*, (9), 16–21.
8. Peckol, J. (2019). *Embedded systems*. Hoboken, NJ: John Wiley.
9. Hennessy, J. L., & Patterson, D. A. (2017). *Computer Organization and Design RISC-V Edition: The Hardware Software Interface*. Elsevier Science & Technology Books.
10. Андык, В. С. (2018). *Автоматизированные системы управления технологическими процессами на ТЭС*. Юрайт.
11. Юсупов, Р. Х. (2018). *Основы автоматизированных систем управления технологическими процессами*. Инфра-Инженерия.
12. Zurawski, R. (2019). *Integration technologies for industrial automated systems*. CRC.
13. Shmelova, T., Sikirda, Y., & Sterenharz, A. (2019). *Handbook of Research on Artificial intelligence applications in the aviation and aerospace industries*. IGI Global.
14. Parasuraman, R., Mouloua, M. (2018). *Automation and Human Performance: Theory and Applications*. Routledge.
15. Millot, P. (2014). *Designing Human-Machine Cooperation Systems*. John, Wiley & Sons, Incorporated.
16. Beaty, H. W., & Santoso, S. (2018). *Standard handbook for electrical engineers, seventeenth edition*. McGraw-Hill Education.
17. Scherz, P., & Monk, S. (2016). *Practical Electronics for Inventors, Fourth Edition*. McGraw-Hill Education.



18. Bushma, A. V. (2008). Matrix models of bar graph data display for bicyclic excitation of the optoelectronic scale. *Semiconductor physics, quantum electronics and optoelectronics*, 11(2), 188–195. <https://doi.org/10.15407/spqeo11.02.188>
19. Thirumalai, J. (2018). *Light-Emitting Diode: An Outlook On the Empirical Features and Its Recent Technological Advancements*. Books on Demand.
20. Zhu, Y. (2017). *Embedded Systems with ARM Cortex-M Microcontrollers in Assembly Language and C: Third Edition*. E-Man Press LLC.
21. Staff, J. P. (2015). *Human-Computer Interaction*. Pearson Education.
22. Filimowicz, M., & Tzankova, V. (2018). *New directions in third wave human-computer interaction: volume 1 - technologies*. Springer.
23. Hui, R. (2017). *Photo-Electro-Thermal Theory for LED Systems: Basic Theory and Applications*. Cambridge University Press.
24. Mella, P. (2014). *The Magic Ring: Systems Thinking Approach to Control Systems*. Springer.
25. Kirakowski, J., Norman, K. (2017). *Wiley Handbook of Human Computer Interaction Set*. Wiley & Sons, Incorporated, John.
26. Karwowski, W., Ahram, T. (2018). *Applied Human Factors and Ergonomics 2018*. Springer.
27. Кудряшов, Б. Д. (2015). *Теория информации. Учебник для вузов*. Издательский дом «Питер».
28. Boy G. A. (2017). *Handbook of Human-Machine Interaction: A Human-Centered Design Approach*. Taylor & Francis Group.
29. Harris, D. (2016). *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics. Volume 6: Industrial Ergonomics, Hci, and Applied Cognitive Psychology*. Taylor & Francis Group.
30. Dakin, J. P., Brown, R. G. (2017). *Handbook of Optoelectronics, Second Edition: Enabling Technologies*. Taylor & Francis Group.
31. Coombs, C., Holden H. (2016). *Printed Circuits Handbook, Seventh Edition*. McGraw-Hill Education.
32. Kensek, K. M. (2014). *Information Modeling*. Taylor & Francis Group.
33. Bushma, A. V. (2010). Increase of data protection level for visual information in control systems. *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*, 13(3), 235—239.
34. Chandler, D. (2017). *Semiotics: The Basics*. Taylor & Francis Group.
35. Platt, C., Jansson F. (2014). *Encyclopedia of Electronic Components Volume 2: LEDs, LCDs, Audio, Thyristors, Digital Logic, and Amplification*. Make.
36. Bushma, A. V., Sukatch, G. A. (2006). Possible variants of two-cycle discrete-analog representation of information. *Radioelectronics and Communications Systems*, 49(2), 11—17.
37. Webster, J. G., & Eren, H. (2017). *Measurement, instrumentation, and sensors handbook, second edition: electromagnetic, optical, radiation, chemical, and biomedical measurement*. Taylor & Francis Group.
38. Eismin, T. (2019). *Aircraft Electricity and Electronics, Seventh Edition*. McGraw-Hill Education.
39. Scherz, P., Monk, S. (2016). *Practical Electronics for Inventors (4th ed.)*. McGraw-Hill Education.

**Bushma Oleksandr Volodymyrovych**

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor of the Department of Computer Science and Mathematics,
Borys Grinchenko Kyiv University, Kyiv, Ukraine
ORCID ID 0000-0003-1604-6129
o.bushma@kubg.edu.ua

Turukalo Andrii Valeriiovych

Postgraduate student of the Department of Computer Science,
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
ORCID ID 0000-0003-2944-1806
tyrykalo@gmail.com

MULTI-ELEMENT SCALE INDICATOR DEVICES IN BUILT-IN SYSTEMS

Abstract. The work is devoted to investigation of functional principles of data display means building in embedded systems and definition of ways of reliability increasing of information transfer at interaction in user interface. The importance of a visual communication channel with the operator to ensure the protection of information in complex systems and responsible applications is shown. The principles of implementation of the data output subsystem in embedded systems are analyzed and it is found that the required level of information is provided only by multi-element indicator devices. The element base of indicators is investigated and determined that the most effective display elements from a reliable and ergonomic point of view for built-in applications are LEDs. Analysis of the principles of visual presentation of information showed that the analog (discrete-analog) method of data transmission to the operator provides the highest level of ergonomic parameters of indicators. In this case, the best results have a scale indication based on the additive information model. The use of color speeds up the reading of information from the scale. The control schemes of indicator elements for construction of reliable devices are analyzed. It has been found that the use of microcontrollers significantly increases the level of reliability and provides flexibility of such control schemes. In this case, the software used has a significant impact on the reliability and efficiency of solutions. The matrix connection of LEDs, which are switched in a dynamic mode, allows to build effective means of communication with the operator. It is determined that the best set of technical, reliability and ergonomic characteristics will be obtained when implementing data output in embedded systems using LED bar graph display with microcontroller means in bicyclic dynamic mode. However, very little attention has been paid to investigation of the principles of construction and software optimization support for scale information using control schemes based on microcontrollers.

Keywords: data transmission reliability; scale indicator; information model; microcontroller; discrete-analog indication; LED; dynamic mode.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Coombs, C., & Holden, H. (2016). *Printed Circuits Handbook, Seventh Edition*. McGraw-Hill Education.
2. Chemes, E. O., Yampolskiy, Yu.S. (2014). *Electrotechnical attachments of radioelectronic devices: monograph*. Bahwa.
3. Barrett, S.F., Pak, D.J. (2017). *Embedded systems. Designing applications on microcontrollers of the 68NS12 / HCS12 family using the S. DMK -press language*.
4. Vazhenin V.G. (2016). *Analog devices based on operational amplifiers*. Ural University Publishing House.
5. Huang, J.-J., Kuo, H.-C., & Shen, S.-C. (2017). *Nitride Semiconductor Light-Emitting Diodes: Materials, Technologies, and Applications*. Elsevier Science & Technology.
6. Bushma, A. V., Yartsev, V. P. (2014). Multi-cycle formation of discrete-analog forms of messages presentation on the LED scale. *Suchasniy zagist informatsii*, (1), 4-9.



7. Bushma, A.V., Sukach, G.A., Yartsev, V.P. (2006). Multi-cycle formation of discrete-analog forms of message presentation on the LED scale. *Devices and systems. Management, control, diagnostics*, (9), 16–21.
8. Peckol, J. (2019). *Embedded systems*. Hoboken, NJ: John Wiley.
9. Hennessy, J. L., & Patterson, D. A. (2017). *Computer Organization and Design RISC-V Edition: The Hardware Software Interface*. Elsevier Science & Technology Books.
10. Andyk, V.S. (2018). *Automated control systems for technological processes at TPPs*. Yurayt.
11. Yusupov, R. Kh. (2018). *Fundamentals of automated control systems for technological processes*. Infra-Engineering.
12. Zurawski, R. (2019). *Integration technologies for industrial automated systems*. CRC.
13. Shmelova, T., Sikirda, Y., & Sterenharz, A. (2019). *Handbook of Research on Artificial intelligence applications in the aviation and aerospace industries*. IGI Global.
14. Parasuraman, R., Mouloua, M. (2018). *Automation and Human Performance: Theory and Applications*. Routledge.
15. Millot, P. (2014). *Designing Human-Machine Cooperation Systems*. John, Wiley & Sons, Incorporated.
16. Beaty, H. W., & Santoso, S. (2018). *Standard handbook for electrical engineers, seventeenth edition*. McGraw-Hill Education.
17. Scherz, P., & Monk, S. (2016). *Practical Electronics for Inventors, Fourth Edition*. McGraw-Hill Education.
18. Bushma, A. V. (2008). Matrix models of bar graph data display for bicyclic excitation of the optoelectronic scale. *Semiconductor physics, quantum electronics and optoelectronics*, 11(2), 188–195. <https://doi.org/10.15407/spqeo11.02.188>
19. Thirumalai, J. (2018). *Light-Emitting Diode: An Outlook On the Empirical Features and Its Recent Technological Advancements*. Books on Demand.
20. Zhu, Y. (2017). *Embedded Systems with ARM Cortex-M Microcontrollers in Assembly Language and C: Third Edition*. E-Man Press LLC.
21. Staff, J. P. (2015). *Human-Computer Interaction*. Pearson Education.
22. Filimowicz, M., & Tzankova, V. (2018). *New directions in third wave human-computer interaction: volume 1 - technologies*. Springer.
23. Hui, R. (2017). *Photo-Electro-Thermal Theory for LED Systems: Basic Theory and Applications*. Cambridge University Press.
24. Mella, P. (2014). *The Magic Ring: Systems Thinking Approach to Control Systems*. Springer.
25. Kirakowski, J., Norman, K. (2017). *Wiley Handbook of Human Computer Interaction Set*. Wiley & Sons, Incorporated, John.
26. Karwowski, W., Ahram, T. (2018). *Applied Human Factors and Ergonomics 2018*. Springer.
27. Kudryashov, B.D. (2015). *Information theory. Textbook for universities*. Publishing house "Peter".
28. Boy G. A. (2017). *Handbook of Human-Machine Interaction: A Human-Centered Design Approach*. Taylor & Francis Group.
29. Harris, D. (2016). *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics. Volume 6: Industrial Ergonomics, Hci, and Applied Cognitive Psychology*. Taylor & Francis Group.
30. Dakin, J. P., Brown, R. G. (2017). *Handbook of Optoelectronics, Second Edition: Enabling Technologies*. Taylor & Francis Group.
31. Coombs, C., Holden H. (2016). *Printed Circuits Handbook, Seventh Edition*. McGraw-Hill Education.
32. Kensek, K. M. (2014). *Information Modeling*. Taylor & Francis Group.
33. Bushma, A. V. (2010). Increase of data protection level for visual information in control systems. *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*, 13(3), 235—239.
34. Chandler, D. (2017). *Semiotics: The Basics*. Taylor & Francis Group.
35. Platt, C., Jansson F. (2014). *Encyclopedia of Electronic Components Volume 2: LEDs, LCDs, Audio, Thyristors, Digital Logic, and Amplification*. Make.
36. Bushma, A. V., Sukatch, G. A. (2006). Possible variants of two-cycle discrete-analog representation of information. *Radioelectronics and Communications Systems*, 49(2), 11—17.
37. Webster, J. G., & Eren, H. (2017). *Measurement, instrumentation, and sensors handbook, second edition: electromagnetic, optical, radiation, chemical, and biomedical measurement*. Taylor & Francis Group.
38. Eismín, T. (2019). *Aircraft Electricity and Electronics, Seventh Edition*. McGraw-Hill Education.
39. Scherz, P., Monk, S. (2016). *Practical Electronics for Inventors (4th ed.)*. McGraw-Hill Education.

